



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

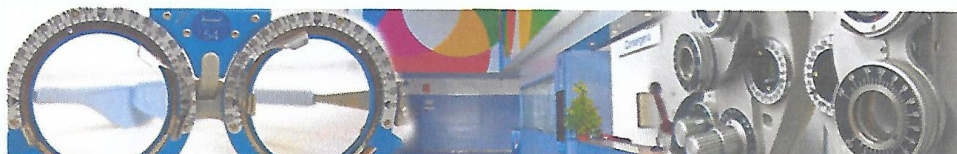
MESURA DE L'AGUDESA VISUAL CROMÀTICA AMB CORBES DE DESENFOC

MARIA DEL MAR DOMÈNECH XIMENOS

AURORA TORRENTS GÓMEZ
MARIA SAGRARIO MILLÁN GARCÍA VARELA
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

26 DE JUNY DE 2019

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

La Sres. Aurora Torrents Gómez i Maria Sagrario Millán García Varela, com a directores del treball

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Maria del Mar Domènech Ximenes ha realitzat sota la seva supervisió el treball Mesura de l'agudesia visual cromàtica amb corbes de desenfoc que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signem aquest certificat.



Sra Aurora Torrents Gómez
Directora del treball



Sra Maria Sagrario Millán García Varela
Directora del treball

Terrassa, 3 de juny de 2019.



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

MESURA DE L'AGUDESA VISUAL CROMÀTICA AMB CORBES DE DESENFOC

RESUM

Aquest Treball Fi de Grau té com a objectiu principal mesurar l'agudesia visual en diferents condicions d'acomodació i cromaticitat del fons. Es va mesurar l'agudesia visual, en visió de lluny i de prop, en condicions naturals i simulades, a un grup d'observadors no prèsbites, il·luminant successivament els optotips amb quatre llums LEDS diferents: blanc, blau, verd i vermell, en condicions mesòpiques. Per crear les condicions d'agudesia visual simulada es va utilitzar la ullera de prova: es van anteposar lents esfèriques per a relaxar l'acomodació i simular visió de lluny (lent de +2.50 D), o bé, per estimular-la i simular visió de prop (lent de -3.00 D). S'han obtingut valors d'agudesia visual bastant similars quan l'optotip estava situat a 3 m i a 33 cm. Tot i així, quan l'optotip estava a 33 cm, les agudeses visuals han estat lleugerament inferiors. En aquest treball s'analitzen els factors que poden haver influït i que s'estimen com a plausibles: les aberracions cromàtiques; la qualitat d'impressió dels optotips; l'efecte d'amontonament produït pel mateix optotip i la manca de relaxació de l'acomodació dels observadors (flexibilitat d'acomodació reduïda amb lents positives).



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

MEDIDA DE LA AGUDEZA VISUAL CROMÁTICA CON CURVAS DE DESENFOQUE

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal medir la agudeza visual en diferentes condiciones de acomodación y cromaticidad del fondo. Se midió la agudeza visual, tanto en visión lejana como próxima, en condiciones naturales y simuladas, a un grupo de observadores no presbítas, iluminando sucesivamente los optotipos con cuatro luces LED distintos: blanco, azul, verde y rojo, en condiciones mesópicas. Para crear las condiciones de agudeza visual simulada se usó una gafa de prueba: se antepusieron lentes esféricas para relajar la acomodación y simular la visión lejana (lente de +2.50 D), o bien, para estimularla y simulación la visión próxima (lente de -3.00 D). Las agudezas visuales de lejos natural y simulada y próxima natural y simulada halladas han tenido un valor similar. Aún y así, se han obtenido valores de agudeza visual superiores cuando el optotipo estaba situado a 3 m, tanto en visión lejana natural como en visión cercana simulada. En este trabajo se analizan los factores que pueden haber influido: las aberraciones cromáticas; la calidad de impresión de los optotipos; el efecto de amontonamiento producido por el mismo optotipo y la falta de relajación de acomodación de los observadores (flexibilidad de acomodación reducida con lentes positivas).



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

MEASUREMENT OF THE CHROMATIC VISUAL ACUITY WITH DEFOCUS CURVES

ABSTRACT

Its main objective is to measure the visual acuity in different accommodation and chromaticity conditions. Far visual acuity and near visual acuity were measured, in natural and conditioned measurements to a non-presbital group of observers illuminating the optotypes with four different LEDs: white, blue, green and red, in mesopic conditions. Spheric lenses were added in order to measure the visual acuity in simulated conditions, to stimulate the accommodation for the far vision (+2.50 D) or relax it in the case of the near vision (-3.00 D). Although the natural and simulated far visual acuities and the natural and simulated near ones should have been exactly the same, the results found in the practical part were a little bit different. When the optotype was situated 3 m far from the observer, in both real far vision or simulated near vision, visual acuity results were higher than when it was situated 33 cm. The different causes which may influence are: the chromatic aberrations, the quality of the optotype impression; the stacking effect produced by the optotype and the lack of relaxed accommodation of the observers (reduced accommodation flexibility with positive lenses).



AGRAÏMENTS

Agraeixo a les dues directores del TFG,
Aurora Torrents i Maria Sagrario Millán,
la seva dedicació per a elaborar aquest treball i la seva paciència.



INDEX

INTRODUCCIÓ I FONAMENTS TEÒRICS	Pàg. 1
OBJECTIUS	Pàg. 12
METODOLOGIA	Pàg. 14
RESULTATS	Pàg. 19
DISCUSSIÓ	Pàg. 24
CONCLUSIONS	Pàg. 29
BIBLIOGRAFIA	Pàg. 30
ANNEX I	Pàg. 32

INTRODUCCIÓ I FONAMENTS TEÒRICS

A continuació es situa el Treball Fi de Grau al seu context temàtic i es revisen alguns conceptes teòrics, com per exemple l'agudesia visual, les aberracions o les corbes de desenfoc.

La pràctica optomètrica defineix l'agudesia visual com el poder de resolució de l'ull que permet reconèixer i discriminar estímuls separats. El llindar que es detecta mesurant l'agudesia visual és el mínim angle de resolució (MAR). De fet, l'agudesia visual també es pot definir com la inversa del mínim angle de resolució, mesurat en minuts. En els procediments optomètrics habituals, l'agudesia visual que normalment es mesura és en condicions amb alt contrast (Pujol, Torrents i Urtubia, 2018).

La fórmula matemàtica que permet trobar l'agudesia visual en funció de MAR és:

$$AV = \frac{1}{u'} = \log u', \text{ per tant, } u' = 10^{\log MAR} \quad (1)$$

Matemàticament, també es pot trobar la agudesia visual mitjançant la següent equació:

$$AV = \frac{29 \cdot 10^{-4} d}{s}, \quad (2)$$

on d és la distància de l'observador a l'optotip i s , el detall de l'optotip, que és una cinquena part de la mida de l'optotip, h (Figura 1).

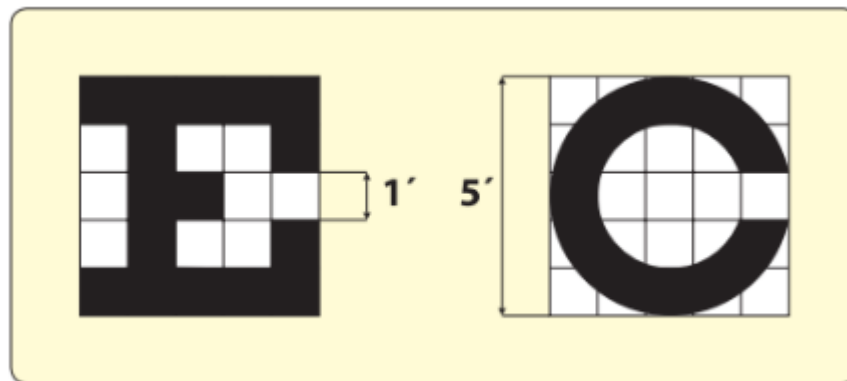


Figura 1. Relació entre el detall de l'optotip i la mida de l'optotip.

Tal i com s'observa en aquesta fórmula matemàtica, l'agudesa visual no depèn únicament de la distància de treball. Això vol dir que es pot mesurar a qualsevol distància, tenint en compte, quin valor es pot aconseguir identificar correctament. En cas d'utilitzar un mateix optotip en dues distàncies diferents, la fórmula per trobar l'agudesa visual en cada distància és (Peris i Vila, Curs 2015):

$$\frac{\text{distància de disseny de l'optotip}}{AV \text{ a la distància de disseny}} = \frac{\text{distància d'examen}}{AV \text{ real}} \quad (3)$$

Per exemple, si un pacient pot identificar un estímul d'un optotip que correspon a la línia de 0.7 dissenyat a 5 m, a una distància de 3 metres, la seva agudesa visual és: 0.42.

$$\frac{5}{0.7} = \frac{3}{AV \text{ real}} \rightarrow AV \text{ real} = 3 \cdot 0.7 / 5 = 0.42 \quad (4)$$

Els factors que modifiquen l'agudesa visual són:

- Factors físics
 - entorn ambiental: luminància
 - dels optotips: color, tipografia, il·luminació, contrast, distància al pacient, qualitat d'impressió o de projecció.

- de l'ull:
 - diàmetre pupil·lar i difracció ocular: A major diàmetre pupil·lar, major freqüència de tall delimitat per la difracció. S'entén per freqüència de tall aquella distribució de franges de freqüència espacial a partir de la qual ja no es transmet el patró periòdic i l'observador percep un gris uniforme.
 - Ametropies (desenfoc): si el pacient presenta miopia l'agudesesa visual en visió de lluny, es veurà disminuïda, per exemple.
 - aberracions òptiques: a major diàmetre pupil·lar, més aberracions. De fet, l'ull humà té més de 10 vegades aberracions monocromàtiques que qualsevol instrument òptic i gairebé 2 diòptries d'aberracions cromàtiques.
 - transparència dels medis oculars.
- Factors fisiològics:
 - mosaic retinià: distribució de cons i bastons a la retina
 - adaptació a la foscor
 - excentricitat de la fixació: si la fixació és perifèrica l'agudesesa visual és inferior que si és central
 - moviments oculars: la presència de moviments sacàdics dels ulls estableixen la imatge
 - edat del pacient: els recents nascuts tenen agudeses visuals baixes, per exemple.
 - monocular o binocular: l'agudesesa visual binocular és un 10% superior a la monocular
 - medicaments: els fàrmacs midriàtics, miòtics i cicloplègics afecten a l'agudesesa visual
 - malalties oculars o sistèmiques: com per exemple, queratoconjuntivitis o diabetes mellitus

- Factors neuronals:
 - desenvolupament del còrtex visual
 - estat de la via visual
- Factors psicològics:
 - fatiga
 - motivació
 - experiències prèvies (Martin i Vecilla, 2018)

Hi ha diferents optotips que es poden usar per mesurar l'agudes visual.

En primer lloc, es poden trobar optotips de lletres o números. Com a característica general, en tractar-se d'identificar lletres o números, s'aconsegueix una agudes visual lleugerament superior a la real ja que només aconseguint identificar la forma de la lletra o el número, ja es pot encertar amb una alta probabilitat quin és.

En segon lloc, hi ha els optotips direccionals. Els optotips direccionals són aquells que, en comptes de distingir el significat de l'optotip, s'ha de discriminar la separació de l'obertura i distingir la direcció en què estan. Com a avantatges respecte els anteriors, en aquest cas no és necessari conèixer l'optotip. Conseqüentment, com que no hi ha possibilitat d'identificar el què és i només cal indicar, la direcció, les agudes visuals trobades són inferiors. Hi ha dos tipus diferents, la E de Snellen i la C de Landolt. Respecte al primer, dir que hi ha algunes variacions d'aquest optotip que s'utilitzen per mesurar l'agudes visual en nens o persones amb discapacitat mental (Peris i Vila, Curs 2015).

L'optotip C de Landolt és el que s'ha usat en la realització de la part pràctica d'aquest treball. És un optotip dissenyat per Edmund Landolt, un oftalmòleg suís (1846-1926). El pacient ha d'identificar la discontinuïtat dels anells de Landolt, que són caràcters circulars (Figura 2). (Yakushigawa et al, 2004).

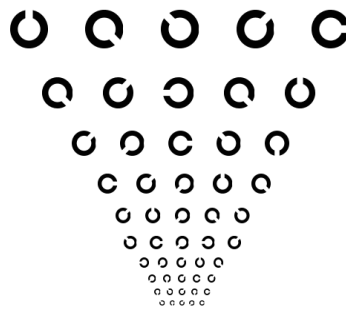


Figura 2. Optotip C de Landolt.

L'optotip es dissenya de tal forma que la separació entre les línies té la mateixa mida que tenen els optotips corresponents a l'agudesa visual més baixa. La separació entre els elements varia segons la següent taula (Taula 1) (ISO 8596, 2017):

Agudesas Visual Decimal	Espai mínim que hi ha d'haver entre els optotips
<0.06	0.4·diàmetre de C de Landolt
0.06-0.125	1·diàmetre de C de Landolt
0.16-0.32	1.5·diàmetre de C de Landolt
0.40-1.00	2·diàmetre de C de Landolt
>1.00	3·diàmetre de C de Landolt

Taula 1. Separació dels optotips, ISO 8596.

Hi ha diverses escales que expressen l'agudesa visual.

En primer lloc, hi ha la notació decimal. És la més utilitzada a Espanya. Els valors van de 0.1 a 1.5, cada valor és una línia, que va augmentant d'agudesa visual de 0.1 en 0.1. Tenir una agudesa visual de 1.0 es considera bona visió, és el valor que s'espera que una persona aconsegueixi quan se li corregeix l'error refractiu, sempre i quan es descartin altres patologies oculars.

En segon lloc, hi ha la notació de Snellen. Rep aquest nom en honor al seu creador; un oftalmòleg neerlandès (1834-1908). És la notació que més utilitzen als països



anglosaxons. En aquest cas, el valor d'agudeses visual es dona com una fracció. El numerador correspon a la distància de treball, és a dir, la distància a la qual hem mesurat l'agudeses visual. I, el denominador és aquella distància a la qual una persona amb bona visió, pot veure el test, que correspondria, a 6/6 o 20/20. Les distàncies es poden donar, tant amb metres (6/6), notació usada a Regne Unit i Austràlia, com en peus (20/20), notació usada a Estats Units.

Els dos tipus de notacions anteriorment descrites (decimal i de Snellen) tenen un inconvenient en comú. Tot i que són notacions molt usades, presenten un clar desavantatge. Hi ha una progressió no proporcional entre les diferents mides.

En tercer lloc, es pot mesurar l'agudeses visual amb l'escala LogMar. És un tipus de notació en la que el canvi de mida entre línies consecutives sí que manté aquesta proporcionalitat. Aquest tipus d'escala que presenten una progressió logarítmica tenen 5 lletres per optotip, amb la mateixa separació entre files i optotips. El ratio de progressió és de 0.1 per cada línia.

Per ser més concrets, en aquest treball s'ha seguit el criteri de que si un pacient diu tres o més optotips d'una línia, es considera que l'agudeses visual és la corresponent a aquella línia.

Hi ha encara altra notació utilitzada en baixa visió que no descrivim aquí perquè no té relació amb el tema d'estudi d'aquest treball.

Quan l'agudesia visual expressada en notació decimal es va aproximant a 1.0, la notació en LogMar es va aproximant a 0 (Taula 2).

Snellen (m)	Decimal
6/3	2.00
6/3.75	1.60
6/5	1.25
6/6	1.00
6/7.5	0.80
6/10	0.63
6/12	0.50
6/15	0.40
6/20	0.32
6/24	0.25
6/30	0.20
6/38	0.16
6/48	0.125
6/60	0.1

Taula 2. Relació de l'agudesia visual expressada en notació de Snellen i decimal.

Els optotips es poden presentar en negre sobre fons blanc o sobre un fons de color. En la pràctica clínica és habitual utilitzar un fons blanc, però en aquest treball s'estudia la influència de l'estímul cromàtic que il·lumina l'optotip. En l'últim cas es parla de l'agudesia visual sobre fons de color. Aquesta es defineix com el poder de resolució de l'ull que permet reconèixer i discriminar estímuls separats tenint en compte el color de fons. En termes generals, quan la llum que il·lumina el fons del test no és blanca, si no que és d'un color dels extrems de l'espectre visible (vermell i blau), la imatge focalitza en un punt anterior o posterior a la retina. Com a conseqüència de l'error refractiu cromàtic, es produeix visió borrosa i disminució de la sensibilitat al contrast. Per tant, es produeix una disminució d'agudesia visual (Campbell y Gubisch, 1967). Depenent del color, aquests efectes són majors o menors.

Tal i com s'ha vist anteriorment, un dels factors que limita l'agudesa visual són les aberracions. L'ull, com tot sistema òptic, pateix desenfocaments i aberracions. L'aberració cromàtica n'és un exemple.

L'aberració cromàtica és produïda per la dispersió cromàtica, deguda a la variació de l'índex de refracció dels materials amb la longitud d'ona. Com a exemple, es pot presentar la descomposició de la llum blanca en tots els seus components quan aquesta incideix a un prisma òptic. Les conseqüències de la dispersió cromàtica en la formació d'imatges a través d'una o més lents són la diferent focalització dels diferents raigs lluminosos segons la longitud d'ona que tenen.

Hi ha dos tipus d'aberració cromàtica: la longitudinal i la transversal, o també anomenada, lateral. En aquest Treball de Fi de Grau només té interès l'aberració cromàtica longitudinal, per tant, és en la que em centraré. Respecte l'aberració cromàtica transversal, només dir que es produeix per una variació de la mida (augment lateral) de la imatge provocada per les diferents longituds d'ona, per diferenciar-la de la longitudinal.

L'aberració cromàtica longitudinal correspon a l'error refractiu per la diferència de potència dels sistemes òptics en funció de la longitud d'ona. Es produeix una diferència d'enfoc de l'ull a causa de les diferents longituds d'ones, el que provoca una disminució del contrast. Un dels factors que contribueix en aquest tipus d'aberració és la dispersió produïda pels medis oculars.

Per efecte de l'aberració cromàtica longitudinal, els blaus, que tenen longituds d'ones curtes, focalitzen abans de la retina; en canvi, els vermells, que corresponen a longituds d'ones més llargues, focalitzen més a prop de la retina, o fins i tot, poden focalitzar darrere la retina. L'ull humà presenta unes 2 D d'aberració cromàtica longitudinal en l'interval de longitud d'ona comprès entre 400 i 700 nm (Figura 3). No obstant això, la longitud d'ona exacta que focalitza a la retina pot variar en funció de l'esforç acomodatiu (Cooper i Pease, 1988). Les aberracions cromàtiques no es manifesten quan la il·luminació és monocromàtica (Ravikumar et al, 2014).

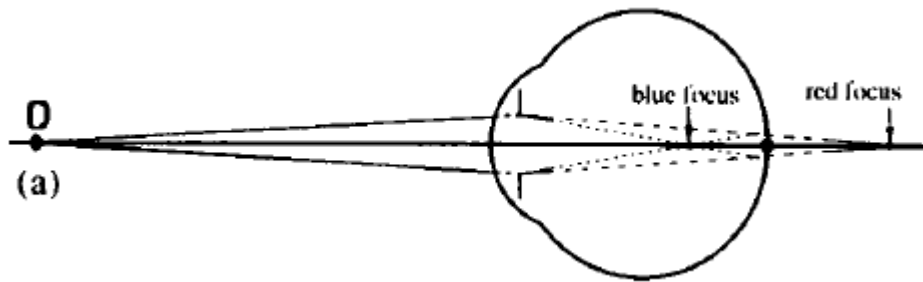


Figura 3. Aberració cromàtica longitudinal.

La figura 4 representa la relació que hi ha entre cada longitud d'ona i l'error refractiu que produeix a l'ull: la variació de l'error refractiu del model d'Emsley de WATER-EYE en les diferents longituds d'ones està simbolitzada per la línia contínua. Per a 589 nm, es tracta d'un model emmetrop. La zona ombrejada representa les aberracions cromàtiques obtingudes d'un grup de 20 observadors joves (Figura 6). Així, per exemple, una longitud d'ona de 450 nm, produeix un error refractiu de -1.25 D i, una de 650 nm, produeix un error refractiu equivalent a +0.25 D. A continuació, es representa.

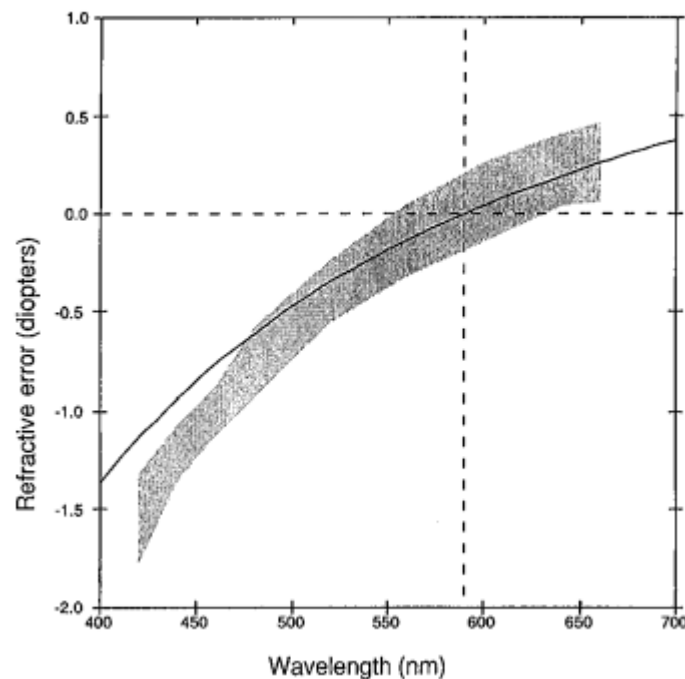


Figura 4. Relació entre la longitud d'ona i l'error refractiu produït (Thibos et al, 1991).

El gràfic que representa l'agudesia visual en funció de la distància de fixació s'anomena corba de desenfocament. Es tracta d'una representació que s'elabora mesurant l'agudesia visual de l'observador, amb el test sotmès a una sèrie de distàncies. La variació de la distància de treball es pot fer canviant la posició del test, o bé, afegint diverses lents esfèriques una ullera de prova. És un mètode de mesura objectiu de la profunditat de focus, que descriu la regió en la que la imatge creada per un sistema òptic és nítida. Es basa en la relació entre la vergència del test (inversa de la distància) i la distància focal focal de la lent. Es tracta del recorregut comprès entre el punt remot i el punt pròxim. El punt remot (pr) és el punt conjugat de la retina en absència d'acomodació i el punt pròxim (pp), en condicions de màxima acomodació (Figura 5).

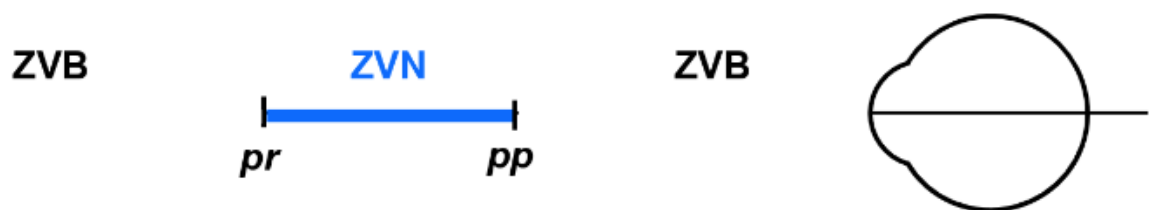


Figura 5. Zona de visió nítida.

En el cas concret d'aquest treball, s'avalua l'agudesia visual en dos punts concrets de la corba de desenfoc, que representen la visió de lluny (3 m) i de prop (33 cm).

Veure un objecte situat a l'infinit òptic a través d'una lent de -1 D equival òpticament a veure'l com si estigués a 1 metre de distància. Per això, es pot fer simulació de visió propera mentre s'està mesurant l'agudesia visual en visió llunyana, per exemple, a 3 metres. En aquest cas, per simular la distància de 33 cm, s'hauria de fer amb una lent esfèrica de -3 D. Al revés també es pot fer, fer la simulació de mesurar l'agudesia visual en visió llunyana quan s'està fent a una distància propera, a 33 cm, en aquest cas, s'hauria d'usar una lent de +3 D.

No obstant això, a la pràctica, en anteposar a l'ull una lent, degut al canvi d'índex de refracció entre l'aire i la lent, es produeix reflexió parcial. En principi, considerem que



les variacions energètiques per reflexions parcials en les lents anteposades són relativament lleugeres i afecten poc a les mesures de les agudeses visuals.

Pel que fa a les diferents longituds d'ones dels raigs lluminosos, els raigs blaus es refracten més que els vermells; per tant, la imatge creada pels raigs blaus estarà situada en un pla més anterior que la dels vermells, tal i com he explicat anteriorment.

Per realitzar aquest tipus de proves, és preferible fer-ho en visió monocular i no en binocular per evitar que la convergència influeixi. Es bloqueja l'efecte de la triada proximal. L'examen monocular no està influenciat per les vergències i per tant, una vegada descartats problemes acomodatius, l'agudesa visual trobada amb cada lent anteposada és objectiva. Si es fes binocular i suposant que no hi ha alteracions en l'acomodació, és a dir, dificultats amb lents positives i negatives, els resultats d'agudesa visual trobats podrien estar falsejats per problemes relacionats amb la convergència.

OBJECTIUS

Aquest Treball Fi de Grau té com a objectiu mesurar l'agudesia visual de lluny de i de prop en diferents condicions cromàtiques del fons i amb diferents configuracions (natural i simulada). Té dues vessants relacionades entre si que es treballaran a partir de les respostes obtingudes en un grup d'observadors no prèsbites.

- Estudiar com l'agudesia visual d'un observador es veu modificada il·luminant l'optotip amb diferents llums LEDS de color:
 - Blanc
 - Verd
 - Blau
 - Vermell
- En segon lloc, s'estudia si s'aconsegueixen els mateixos valors d'agudesia visual si aquesta és mesurada en condicions d'acomodació/relaxació naturals o condicions simulada

Els objectius específics d'aquest Treball Fi de Grau són:

- Estudiar l'aberració cromàtica longitudinal produïda pels diferents llums LEDS, que es posa de manifest en il·luminar els optotips amb els diferents colors
- Estudiar com l'agudesia visual d'un observador emmetrop (o emmetropitzat) elaborant una corba de desenfoc. En aquest TFG, la corba de desenfoc es redueix a dos punts:
 - el punt remot: infinit, a 3 metres
 - visió propera, a 33 cm

En total, es mesura l'agudesia visual en quatre situacions diferents.

- Visió de lluny natural: l'optotip està situat a 3 metres i l'ull està nu
- Visió de lluny simulada: l'optotip està situat a 33 cm i l'ull té anteposada una lent de +3 D
- Visió de prop natural: l'optotip està situat a 33 cm i l'ull està nu



- Visió de prop simulada: l'optotip està situat a 3 metres i l'ull té anteposada una lent de -3 D
- Confrontar la informació teòrica amb l'experimentació pràctica identificant-ne els punts de coincidència i els punts que difereixen
- Analitzar i justificar els resultats obtinguts



METODOLOGIA

Participants:

La mostra inclosa en aquest estudi és de 33 participants.

Els criteris d'inclusió per participar en aquest estudi són els següents:

- edat: compresa entre 18 i 36 anys
- AV superior a 0.9 amb la millor correcció en l'ull estudiat
- errors refractius no superiors a ± 5 D
- absència de patologies oculars
- absència de problemes acomodatius

Material:

El material usat és el següent:

- Led THORLABS M625L3 (vermell)
- Led THORLABS M455L3 (blau)
- Led THORLABS M530L3 (verd)
- Led THORLABS blanc 6500 K (blanc)
- suport pels LEDS
- Luminàncímetre MINOLTA LS100
- optotips C de Landolt (visió de lluny i visió de prop): els optotips utilitzats s'han elaborat expressament per fer aquest treball, seguint els estàndards de la norma ISO 8596. El de visió de lluny es va elaborar en escala decimal i el de visió de prop, en escala LogMAR
- banc òptic
- mentonera
- caixa de lents esfèriques i tòriques
- retinoscopi HEINE BETA 200
- cilindre creuat ± 0.25 D i flipper d'acomodació ± 2 D

L'espectre d'emissió dels diferents LEDs es presenten a continuació (Figura 6):

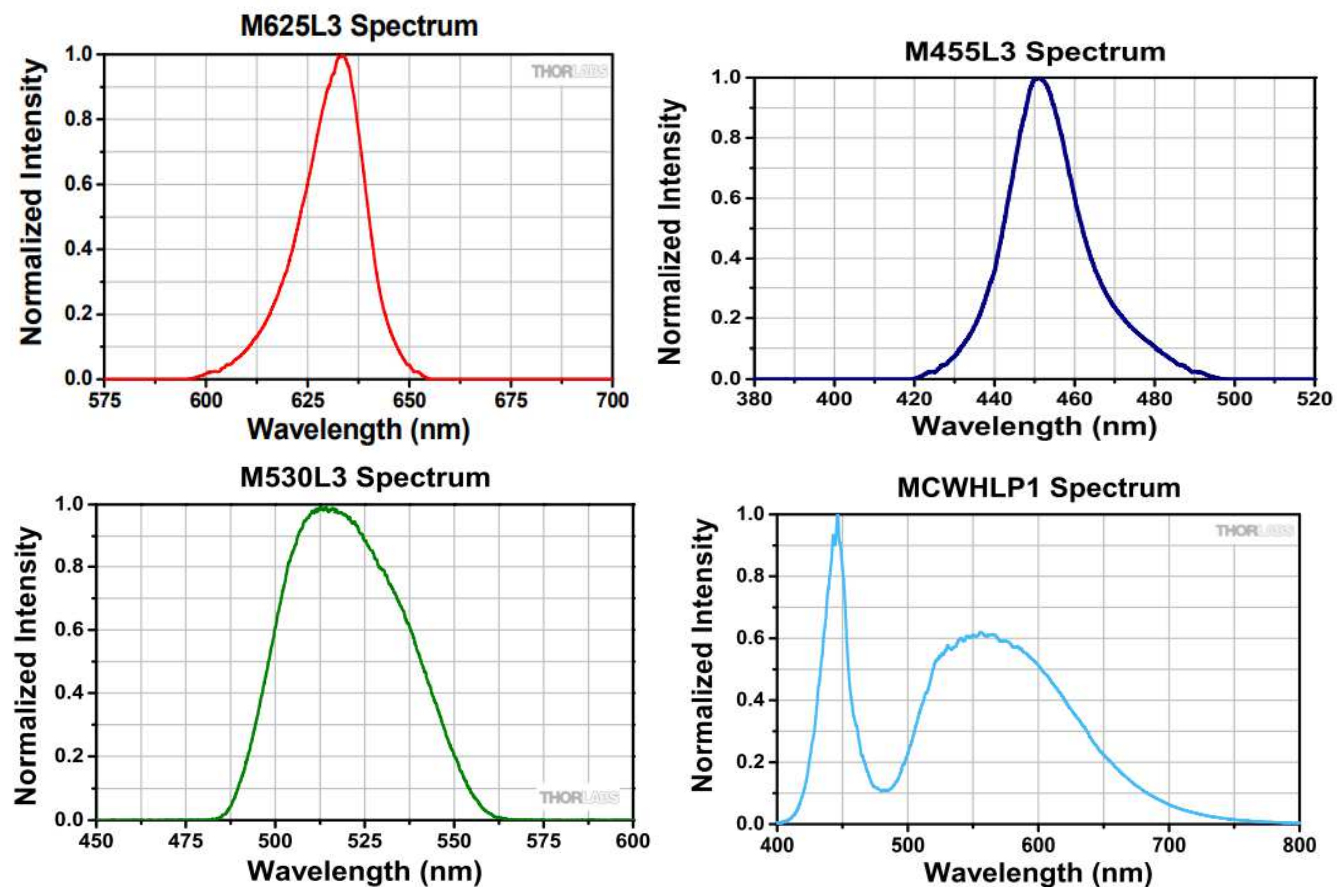


Figura 6. Espectres d'emissió dels LEDs.

Procediment:

El protocol seguit va ser el següent:

1. Col·locació dels optotips correctament a les distàncies fixades: 33 cm per visió propera i 3 metres per visió llunyana.
2. Regulació dels llums LEDS per a que tots tinguin la mateixa luminància amb el luminàncímetre. La luminància fixada va ser de 18 cd/m^2 , corresponent a la del LED blau al màxim de potència.
3. Revisar que l'observador compleix tots els criteris d'inclusió.
4. Ajustar la luminància ambiental a 7 cd/m^2 . (visió mesòpica)
5. Es realitza l'examen retinoscòpic i subjectiu de l'ull escollit. És molt important ni hipercorregir ni hipocorregir ametropies esfèriques i astigmàtiques amb 0.25 D per obtenir uns resultats al màxim de fiables.
6. Es mesura l'agudes visual, en condicions monoculars, tant en distancia de 33 cm (visió propera) i 3 metres (visió llunyana) amb l'ull corregit amb la refracció de cada observador i, amb una lent de +2.50 D (acomodació relaxada), i -3,00 D (estimulació de l'acomodació), respectivament en cada distància, il·luminant l'optotip amb els quatre llums LEDS successivament. En totes les mesures, s'havia de respectar el temps d'adaptació de l'observador a cada LED, que acostumava a ser d'uns 2 minuts. La lent usada per a relaxar l'acomodació és +2.50 D en comptes de +3.00 D com seria necessari, perquè moltes vegades, en anteposar la lent de +3.00 D, als observadors els era molt difícil relaxar l'acomodació i veure-hi nítidament.

En el procediment, es va seguir la tècnica del contrabalanceig; es tracta d'un control experimental que consisteix en què l'error es distribueix equitativament entre totes les condicions experimentals. Es tracta de presentar les diferents proves aleatòriament per neutralitzar els possibles errors d'aprenentatge i de cansament. Per això, l'ordre d'inici en la presa de l'agudes visual en visió de lluny i de prop va ser aleatori, així com també ho va ser l'ordre de presentació dels llums LEDS.

La Figura 7 mostra un exemple de com es prenien l'agudesa visual en visió de prop simulada als observadors.

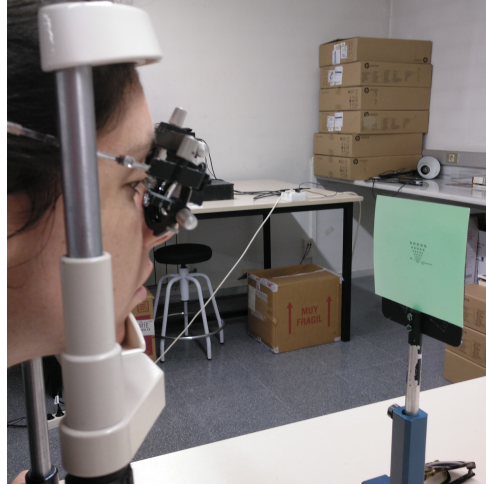


Figura 7. Mesura de l'agudesa visual en visió de prop i condicions simulades.

Les següents imatges, englobades en la Figura 8, mostren com es s'observava el test il·luminat amb els diferents llums LEDS.

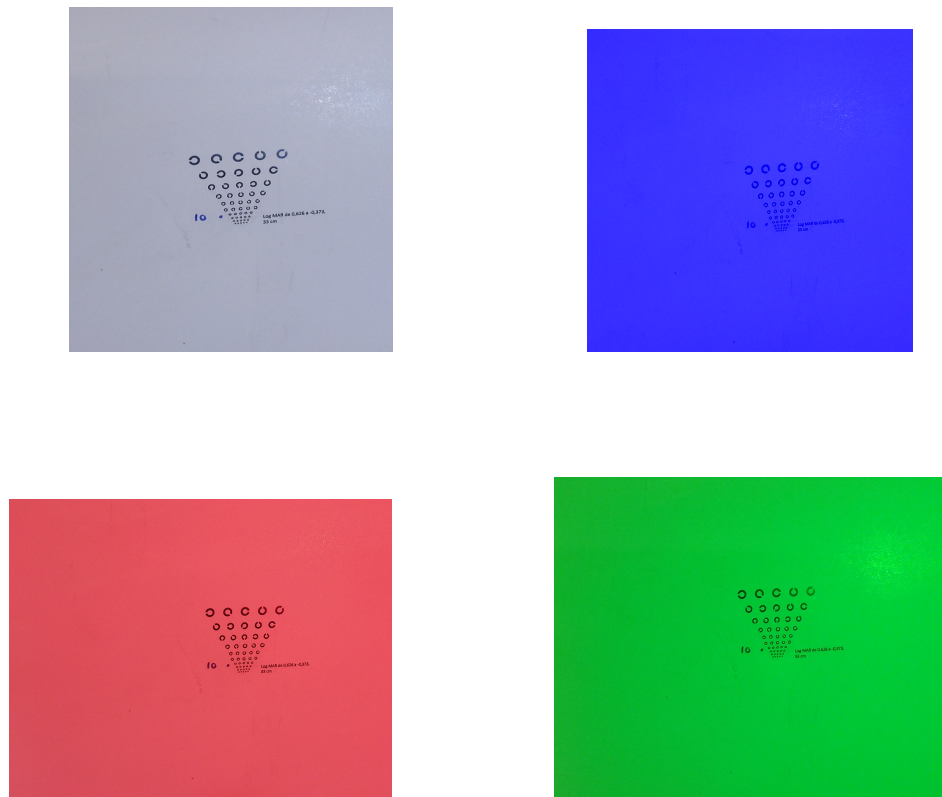


Figura 8. Test il·luminat amb els diferents llums LEDS: blanc, blau, vermell i verd.

RESULTATS

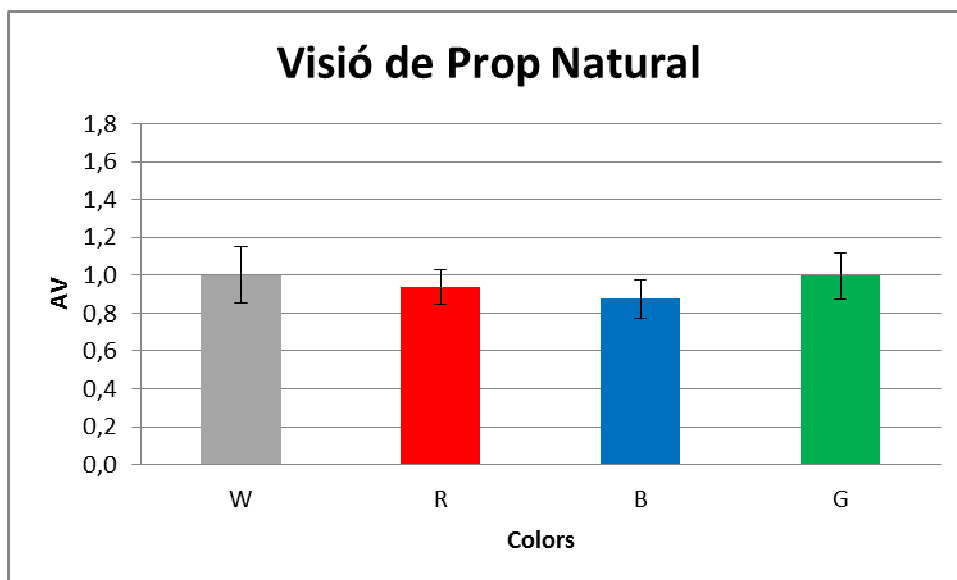
A continuació, es presenta l'agudesia visual obtinguda a cada distància i amb cada llum LED que estava il·luminant. Aquesta inclou les mitjanes i les desviacions estàndard de les agudeses visuals trobades, tant les trobades per cada color (blanc, vermell, blau i verd), com la mitjana de les quatre, en les quatre situacions diferents que es van mesurar: visió de prop natural, visió de prop simulada, visió de lluny natural i visió de lluny simulada (Taula 3).

			MITJANA	COLORS			
				W	R	B	G
AGUDESA VISUAL	VISIÓ DE PROP	NATURAL	1,0 ± 0,26	1,0 ± 0,25	0,9 ± 0,23	0,9 ± 0,29	1,0 ± 0,26
		SIMULADA(-3 D)	1,0 ± 0,42	1,10 ± 0,36	0,96 ± 0,47	0,94 ± 0,40	1,00 ± 0,45
	VISIÓ DE LLUNY	NATURAL	1,13 ± 0,30	1,35 ± 0,22	1,24 ± 0,35	0,72 ± 0,30	1,22 ± 0,33
		SIMULADA (+2,50 D)	0,7 ± 0,28	0,9 ± 0,25	0,7 ± 0,31	0,5 ± 0,26	0,8 ± 0,32

Taula 3. Agudesia visual en visió de prop i de lluny.

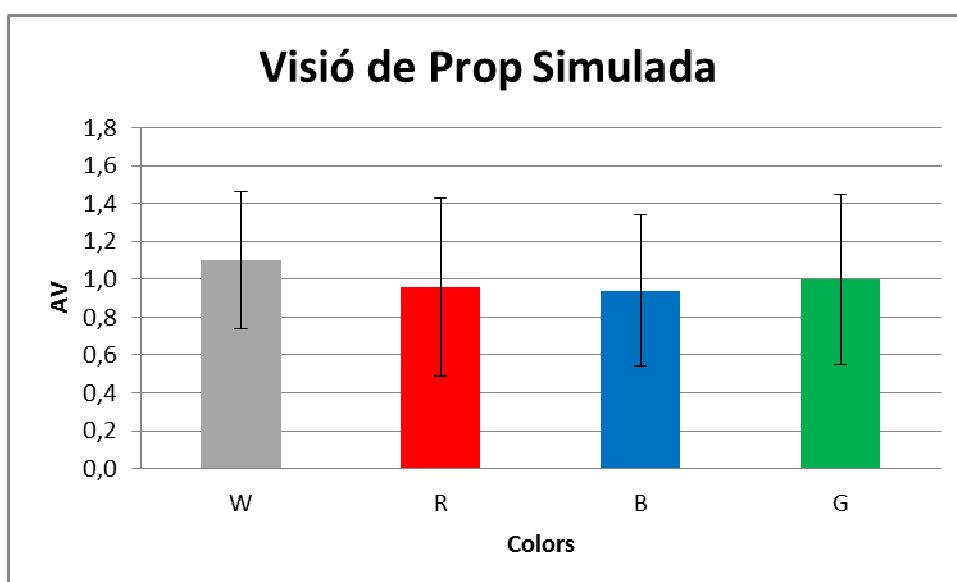
Aquests resultats es representen amb diferents gràfics per tal de detectar visualment les diferents agudeses visuals trobades.

El Gràfic 9 mostra l'agudesa visual obtinguda amb visió de prop usant l'optotip a 33 cm.



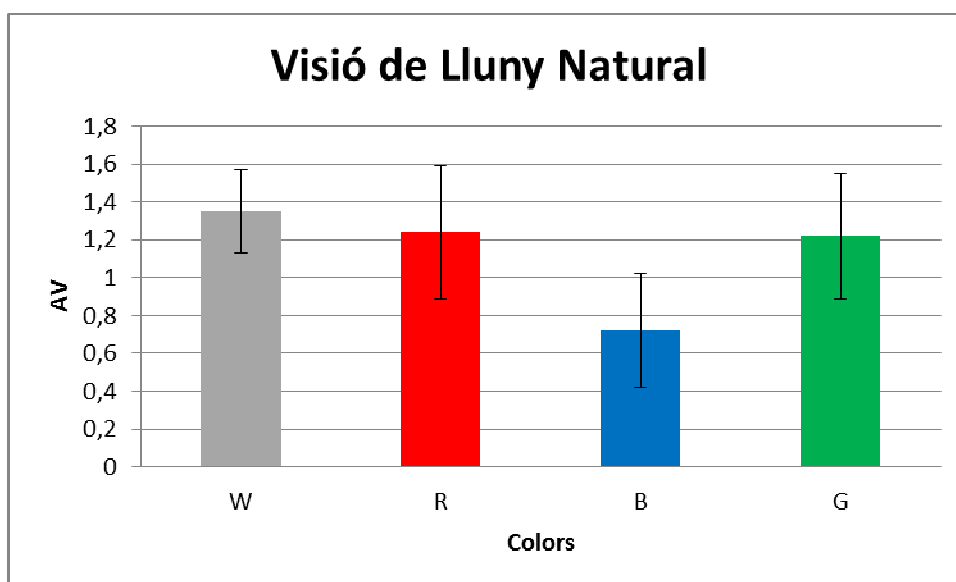
Gràfic 9. AV de visió de prop natural.

El Gràfic 10 mostra l'agudesa visual obtinguda amb visió de prop usant l'optotip a 3 m, amb una lent de -3 D.



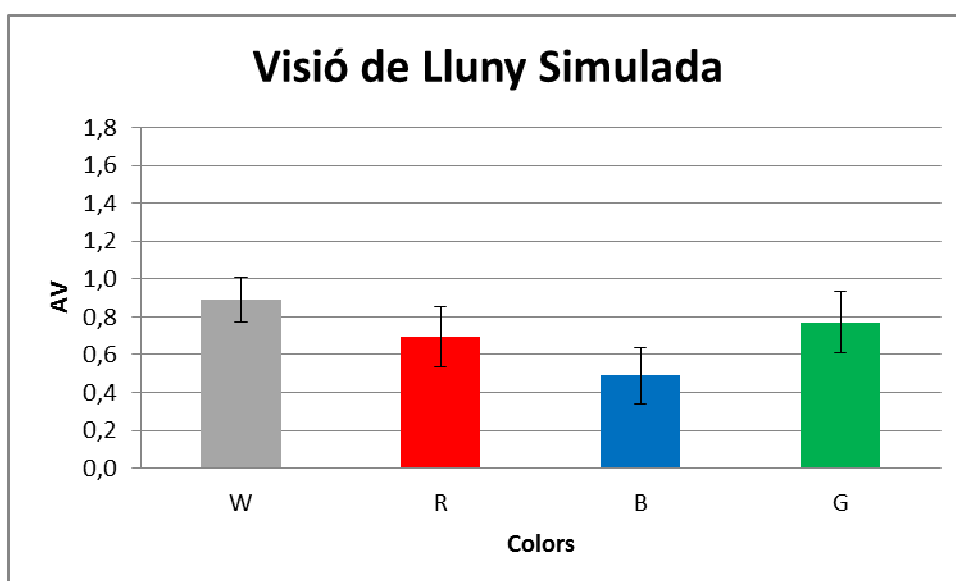
Gràfic 10. AV de visió de prop simulada.

El Gràfic 11 mostra l'agudesa visual obtinguda amb visió de lluny usant l'optotip a 3 m.



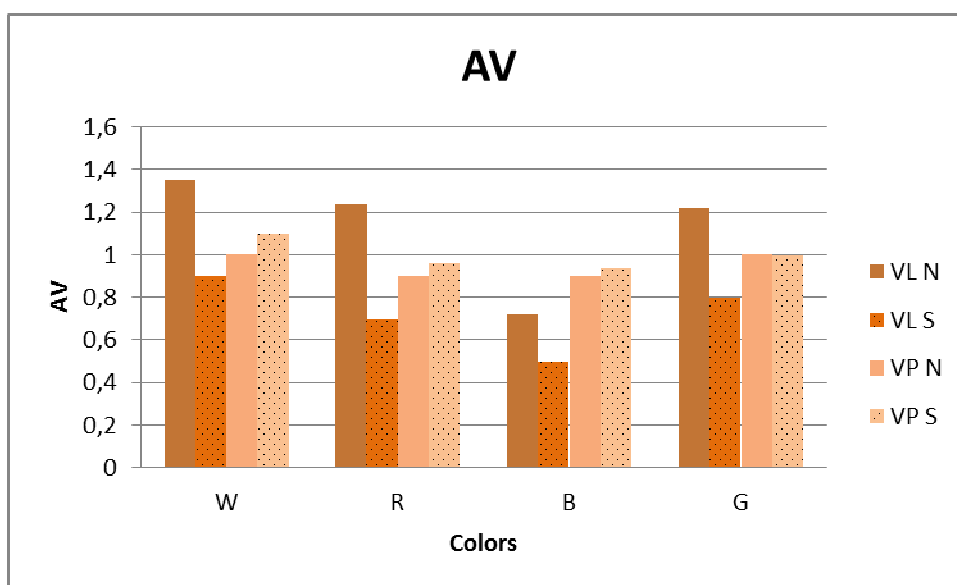
Gràfic 11. AV de visió de lluny natural.

El Gràfic 12 mostra l'agudesa visual obtinguda amb visió de lluny usant l'optotip a 33 cm, amb una lent de +2.50 D.



Gràfic 12. AV de visió de lluny simulada.

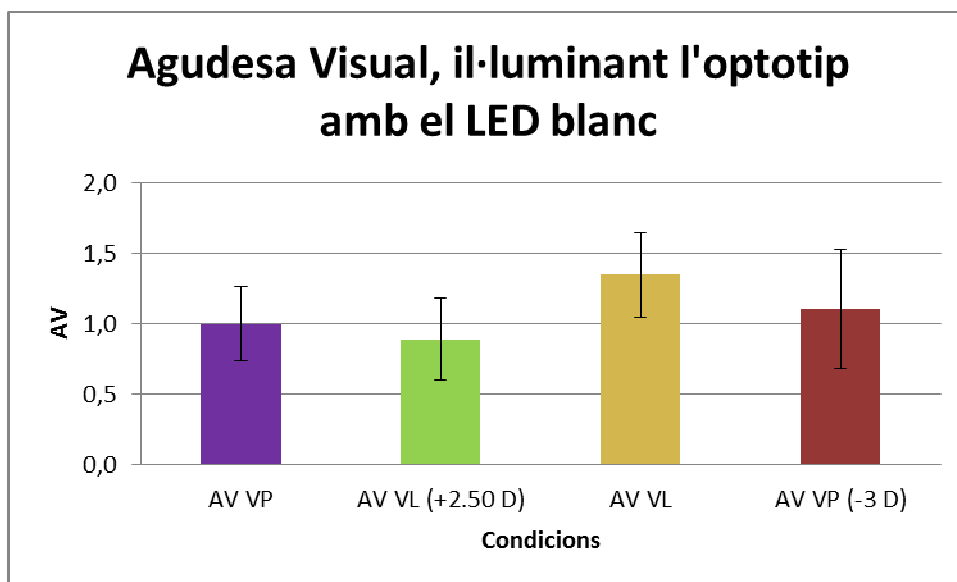
El Gràfic 13 mostra els quatre gràfics presentades anteriorment en un. En fons llis es veuen les agudeses visuals naturals, el marró fosc correspon a visió de lluny i el marró clar, a visió de prop. En fons de puntets es veuen les agudeses visuals simulades, en color marró fosc la visió de lluny i en marró clar, la visió de prop.



Gràfic 13. AV en visió de prop i de lluny, natural i simulada, tenint en compte els colors dels llums LED que il·luminen l'optotip.

Dels gràfics es poden obtenir els següents ítems. Fent referència al color del fons, els valors més baixos d'agudeza visual sempre corresponen al LED blau.

Quant a les condicions de la mesura de l'agudesa visual, s'analitza els resultats trobats quan l'optotip estava il·luminat amb el LED de color blanc (Gràfic 14), que és la situació més habitual en la pràctica clínica.



Gràfic 14. AV en visió de prop i de lluny, natural i simulada, quan l'optotip és il·luminat amb el llum LED blanc.

- l'agudesa visual mesurada quan l'optotip té fons blanc segueix el següent patró: AV-Lluny natural > AV-Prop simulada > AV-Prop Natural > AV-Lluny simulada. Aquest patró es manté quan la il·luminació del fons del test és cromàtica (R, G, B)
- quan s'ha utilitzat l'optotip a 3 m, s'ha obtingut valors d'agudesa visual lleugerament superiors que quan l'optotip es posa prop, a 33 cm
- els valors de desviació estàndard tenen valors una mica més alts en aquelles agudeses visuals trobades quan s'utilitza l'optotip a 3 metres, visió llunyana natural i visió propera simulada. És degut a que com que s'arriba a agudeses visuals superiors, hi ha més diferències entre els valors obtinguts.
- hi ha més diferències d'agudesa visual trobades quan es compara les agudeses visual de lluny real i simulada, que les de prop real i simulada

DISCUSSIÓ

Tal i com es pot observar en els gràfics dels resultats, les agudeses visuals trobades en visió de prop i llunyana, natural i simulada, no tenen els mateixos valors però s'apropen bastant (Figures 9 a 13). Es podria esperar que fossin més propers per test amb un fons constant: les persones no prèsbites amb l'error refractiu corregit, si tenien bones agudeses visuals de lluny, també era d'esperar que les tinguessin en visió de prop. Tampoc es tenia coneixement previ sobre la influència de la condició d'observació natural o simulada.

Primer parlaré sobre l'efecte de les aberracions cromàtiques i després, sobre les condicions de mesura de l'agudesia visual, natural o simulada.

En primer lloc, quant a les aberracions cromàtiques trobades en els LEDS blanc, vermell i verd, no es detecten diferències apreciables en la mesura de l'agudesia visual. En canvi, amb el blau, sobretot quan es prenien l'agudesia visual amb l'optotip situat a 3 m, es posava molt de manifest l'efecte de l'aberració cromàtica longitudinal, justificada des dels fonaments teòrics. Degut a que el blau focalitza en punts anteriors a la retina, es produeix una situació com si l'ull presentés miopia, per tant, les agudeses visuals trobades quan l'optotip està a 3 m i s'està il·luminat amb el LED blau disminueixen respecte les trobades amb els altres colors.

En segon lloc, fent referència a les condicions de mesura de l'agudesia visual, explicaré les diferències obtingudes, agafant com a exemple l'optotip il·luminat amb el LED blanc (Gràfic 14).

Tal i com s'ha pogut veure en els resultats, les agudeses visuals obtingudes amb l'optotip situat a 33 cm van ser similars a les trobades amb l'optotip situat a 3 m, tot i que una mica inferiors.

L'optotip usat per mesurar l'agudesa visual en visió propera natural o visió de lluny simulada va ser elaborat segons la normativa oficial d'elaboració d'optotips. Les característiques dels optotips han de ser les següents:

- l'agudesa visual ha de ser mesurada en LogMAR
- la distància que hi ha d'haver entre les línies ha de ser igual a la mida que tenen els optotips de la primera fila, és a dir, d'agudesa visual menor

Com a conseqüència d'elaborar l'optotip segons la normativa oficial, aquest va quedar molt atapeït, agobiant i junt (Figura 15, reproduïda en escala propera a la real).

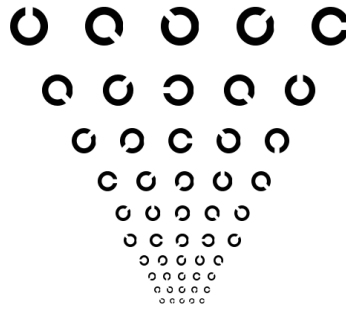


Figura 15. Optotip usat a la distància de 33 cm.

A més a més, la posició de l'observador per prendre l'agudesa visual no era gens natural, ja que el cap estava subjectat per una mentonera (Figura 16).

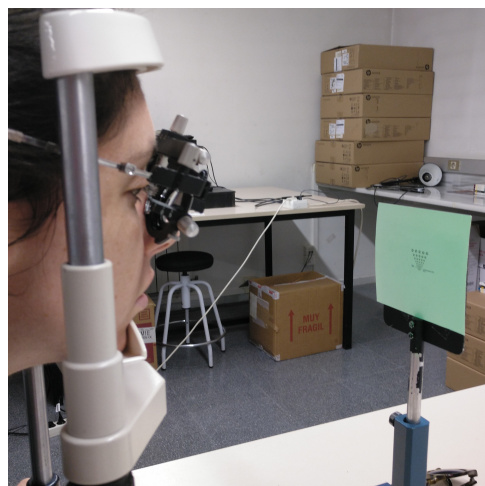


Figura 16. Mesura de l'agudesa visual en visió de prop i condicions simulades.

Aquests dos factors contribueixen a augmentar l'efecte d'apilament.

A més a més, quan l'agudeses visual es mesura en LogMAR, entre totes les línies hi ha un canvi proporcional de 0.1logMAR, poc precisos per arribar a bones agudeses visuals ja que és un increment excessivament gran. Per aquesta raó, quan es mesurava l'agudeses visual amb l'optotip situat a 3 m (Figura 17), l'escala era decimal i no LogMAR, ja que amb l'escala decimal, els canvis d'agudeses visual entre línies consecutives corresponent a valors elevats, són inferiors, el que permet precisar més el valor d'agudeses visual.

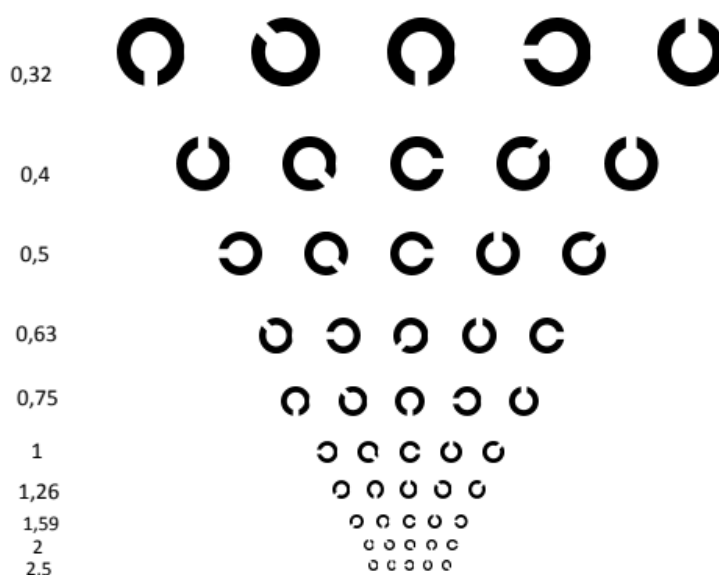


Figura 17. Optotip usat a la distància de 3 m.

A més a més, tot i que els optotips ja van ser impresos en copisteries especialitzades, la qualitat de la impressió no era suficientment bona, ja que s'haurien d'haver obtingut per mètodes fotogràfics.

Per tot el descrit anteriorment, el fet de que les agudeses visuals trobades quan l'optotip era visual trobades quan l'optotip era a 33 cm fossin lleugerament inferiors, no indica que el mètode sigui menys precís, sinó que té un marge d'incertesa més gran quan es posa l'optotip a 3 m. Si quan l'optotip està situat a 3 m, es troben agudeses visuals al voltant de la unitat o superior, s'espera que en visió propera també surtin altes.

A part, van aparèixer una sèrie de dificultats a l'hora d'aplicar la metodologia anteriorment descrita per simular la visió de lluny partint d'un test situat a 33 cm.

Teòricament, per a mesurar l'agudeses visual en visió de lluny simulada, s'hauria d'haver usat una lent esfèrica de +3.00 D per a relaxar l'acomodació degut a que l'optotip estava situat a 33 cm de l'observador. D'aquesta manera, equivaldria a que l'optotip estés situat a l'infinit. No obstant això, per la dificultats dels observadors en relaxar l'acomodació, es va canviar per la de +2.50 D. Estudis recents estan documentant l'increment de la prevalença de la miopia. Els països asiàtics, un 80% de la població presenta miopia. En canvi, als països occidentals, es situa entre el 25 i el 40%. En el cas concret d'Estats Units, el número de miops s'ha duplicat en els últims 30 anys. Es pot afirmar que els factors de risc ambientals influeixen més en l'aparició de la miopia que els genètics. S'atribueix a un augment de la demanda en visió propera, i com a conseqüència, es produeix una reducció de la relaxació de l'acomodació. (Vitale et al, 2009), (Czepita et al, 2016). Aquesta és una de les causes que ha contribuït majoritàriament a una disminució de l'agudeses visual en visió llunyana amb condicions simulades.

S'observa el mateix comportament quan s'il·lumina l'optotip amb els altres colors LEDS.

Tot el que acabo de descriure, ja es podia intuir quan es van realitzar les proves pilot per a preparar el protocol de la part pràctica d'aquest treball.

A causa d'aquests factors explicats, es poden afirmar una sèrie d'ítems:

- La presa d'agudeses visual amb lents positives no és suficientment precisa degut al que s'estima que és una falta de relaxació dels observadors joves (Czepita M et al, 2016 i Vitale S et al, 2009).
- Les agudeses visuals en visió de prop natural i visió de prop simulada, tot i que no coincideixen, són coherents i consistents.
- Anàlogament, les agudeses visuals en visió de lluny natural i visió de lluny simulada tampoc coincideixen, però igual que en el cas anterior, són coherents i consistents.
- Les agudeses visuals trobades quan l'optotip estava situat a 33 cm han estat lleugerament inferiors a les trobades quan estava a 3 m.

- L'ús de l'optotip situat a 3 m permet tenir mesures més precises, amb un marge d'incertesa més reduït. Els resultats són comparables, és a dir, s'espera que persones no prèsbites amb l'error refractiu corregit, si tenen bones agudeses visuals en visió de lluny, també les tinguin en visió de prop.

Es fa constar que durant la realització de la part pràctica, hi ha haver una sèrie de paràmetres no controlats. La seva possible influència en els resultats finals no ha estat avaluada. Aquests paràmetres són:

- El diàmetre pupil·lar, que no es va mesurar ni en condicions fotòpiques ni en condicions mesòpiques. Tal com s'ha descrit a la introducció, és un dels paràmetres que pot afectar a l'agudeses visual, ja que a major diàmetre pupil·lar, més aberracions i menys agudeses visual. A més a més, s'ha de tenir en compte com que l'experimentació es va desenvolupar en condicions mesòpiques, el diàmetre pupil·lar encara augmenta més, per tant, es produeixen més aberracions, que tampoc van ser mesurades.
- L'estat acomodatiu, que no es va quantificar per a cada longitud d'ona.
- El temps d'adaptació. Tot i que es va establir com a temps d'adaptació als diferents colors dels LEDS uns 2 minuts, per tots els colors va ser suficient excepte per l'il·luminant color blau, que segurament, per alguns observadors, si s'hagués deixat un temps superior, les agudeses visuals haurien millorat.

De cara a futures realitzacions de la part experimental d'aquest treball o similars, per tal de trobar resultats més precisos, proposo que es controlin els paràmetres citats anteriorment, que no han estat quantificats per a la realització d'aquest treball.

El segon fa referència a que és molt convenient que els investigadors s'assegurin que els objectes que participin en la part experimental siguin capaços de relaxar l'acomodació.

CONCLUSIONS

Les conclusions d'aquest Treball de Fi de Grau són les següents:

- L'ús del mètode clàssic de corbes de desenfoc utilitzant l'optotip de lluny té bons resultats.
- L'aberració cromàtica longitudinal de l'ull produeix els efectes esperats de disminució de l'agudesia visual quan la il·luminació del fons de l'optotip és blava.
- Tant si s'utilitza l'optotip de lluny o l'optotip de prop, els resultats són molt consistents i coherents.
- S'hauria d'obtenir un optotip amb més qualitat d'impressió, obtingut per mètodes fotogràfics.

BIBLIOGRAFIA

Borràs, M R., Castañé M., Ondategui J. C., Pacheco M., Peris E., Sánchez E. y Varón C. (1999). Optometría. Manual de exámenes clínicos. Barcelona: Ediciones UPC, S.L.

Campbell F. W., Gubisch R. W. (1967). The effect of chromatic aberration on visual acuity. J. Physiol. 192, pp. 345-358.

Chang D. H., Rochab K. M. (2016). Intraocular lens optics and aberrations. Curr Opin Ophthalmol. July: 27(4):298-303.

Cooper D. P., Pease P. L. 1988. Longitudinal chromatic aberration of the human eye and wavelenght in focus. Am. J. Optom. Physiol. Opt. Vol 65, No. 2, pp. 99-107.

Czepita M., Kuprjanowicz L., Safranow K., Mojsa A., Majdanik E., Ustianowska M., Czepita M. 2016. The role of reading, writing, using a computer, or watching televisión in the development of myopia. *Ophthalmol J. Vol. 1, No. 2, 53–57*

Gil L. Diseño y construcción de batería tamiz para diagnosticar anomalías de visión binocular. [Trabajo Fin de Grado]. Aguascalientes. Universidad Autonoma de AguasCalientes. 2013. Disponible en: <https://docplayer.es/82423954-Universidad-autonoma-de-aguascalientes.html>. Consultado el: 27/03/2019.

International Organization for Standardization. ISO 8596: Ophtalmic Optics – Visual acuity testing – Standard and Clinical Optotypes and their presentation. 2017. Suïssa. Accés restringit.

Martin, R. Vecilla, G. (2018). Agudeza visual. En R. Martin, G. Vecilla. Manual de Optometría. (pp. 3-21).Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A.

Peris March M. E., Vila Vidal N. Aplicación Clínica de la medida de la agudeza visual y la sensibilidad al contraste. Procediments clínics en Optometria. Universitat Politècnica de Catalunya. Curs 2014-2015. Accés restringit.

Pujol Ramo J., Torrents Gomez A., Urtubia Vicario C. Métodos Psicofísicos de medida. Psicofísica y Neurofisiología de la visión. Universitat Politècnica de Catalunya. Curs 2018-2019. Accés restringit.

Ravikumar S., Bradley A., Thibos LN. (2014). Chromatic aberration and polychromatic image quality with diffractive multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* Jul;40(7):1192-204.

Thibos LN., Bradley A., Zhang X. (1991). Effect of ocular chromatic aberration on monocular visual performance. *Optom Vis Sci.* Aug: 68(8):599-607.

Vitale S., Sperduto R, Ferris F. (2009). Increased prevalence of myopia in the United States between 1971-1972 and 1999-2004. *Arch Opht,* 127(12):1632-1639.

Yakushigawa H. Nishida Y. Kani K. (2004). Measuring Parafoveal Vision Using Landolt C. *Neuro-Ophthalmology Japan*, 21, 3, 307-312.

Zhang X., Thibos LN., Bradley A. (1997). Wavelength-dependent magnification and polychromatic image quality in eyes corrected for longitudinal chromatic aberration. *Optom Vis Sci.* Jul:74(7):563-9.



ANNEX I – Plantilla Observadors

DADES PERSONALS:

Nom:

Sexe:

Edat:

Ull triat:

Rx:

AV:

TEST A 33 CM:

VP (sense lent):

VL (amb lent de +2.50/+3.00 D):

Blanc:

Blanc:

Vermell:

Vermell:

Blau:

Blau:

Verd:

Verd:

TEST A 3,5 M:

VL (sense lent):

VP (amb lent de -3.00 D):

Blanc:

Blanc:

Vermell:

Vermell:

Blau:

Blau:

Verd:

Verd: